

# 基于 OpenMV 的运动目标控制与自动追踪系统

周子尧, 章扬

(杭州电子科技大学 电子信息学院, 浙江杭州, 310018)

**摘要:** 本系统以OpenMV为控制核心, 由云台、单片机最小核心板、电池、稳压电源、按键等模块构成。通过OpenMV的图像识别与处理, 可对屏幕中的黑色矩形边框、红色激光笔光斑进行识别, 并通过控制舵机云台使激光笔打在屏幕中的指定位置, 从而实现运动目标控制与自动追踪, 满足了要求的各项指标, 且实现了误差均小于0.5cm。系统功能由按键控制, 人机交互功能友好, 此外还具有手动校准功能。

**关键词:** OpenMV; 运动控制; 图像识别; 云台控制; PID算法

DOI:10.16589/j.cnki.cn11-3571/tn.2024.03.017

## 0 引言

随着计算机图像处理技术和高性能芯片的不断发展, 机器视觉领域已经进入了一个令人兴奋的新时代。机器视觉作为一门借助处理器和摄像头代替人眼, 通过数字图像的像素信息进行测量和判断的领域, 在工业、农业、制药等多个领域得到了广泛的应用。这一领域的研究方向包括但不限于产品分拣、人体姿态检测、物体检测和识别等, 为各行各业提供了强大的工具和解决方案。

在机器视觉研究的浪潮中, 开源技术的贡献日益凸显。OpenMV 视觉模块作为一款开源且功能强大的机器视觉模块, 为研究者和工程师提供了极大的便利。OpenMV 内置了众多机器视觉算法, 如寻找色块、人脸检测、边缘检测等, 使得利用这一模块仅需通过简化版的 Python 代码编写即可完成各种复杂的机器视觉任务<sup>[1]</sup>。

另一个关键组成部分是二维云台, 它由两个舵机实现二自由度的控制, 用于对 OpenMV 的测量方向进行调整和修正, 进一步增强了系统的精确性和灵活性。

本论文旨在介绍一种基于 OpenMV 的目标运动控制与自动追踪系统, 探讨如何利用开源技术和高性能硬件, 以满足不断增长的机器视觉应用需求。我们将详细讨论系统的架构、工作原理以及实验结果, 以期为机器视觉领域的研

究和应用贡献新的见解和解决方案。

## 1 系统整体方案设计

系统整体方案设计如图 1 所示, 全系统由两个相互独立的系统组成。OpenMV 是一个开源, 低成本, 功能强大的机器视觉模块上面集成了 STM32F427 微处理器与 OV7725 摄像头芯片, 在小巧的硬件模块上, 用 C 语言高效地实现了核心机器视觉算法, 同时也提供 Python 编程接口<sup>[2]</sup>。系统主控芯片均采用 STM32F427 微处理器。运动目标控制与自动追踪系统均通过转动云台来调整激光的指向, 每个云台由两个大力矩舵机组成, 可以实现水平和垂直方向上的自由移动, 使激光具有更大的指示范围<sup>[3]</sup>。系统通过按键模块可以进行模式选择、位置校准、开始/暂停, 并允许手动调整激光指示精度与指示范围, 以实现广泛范围与高精度等不同的应用场景。

## 2 系统硬件及电路设计

### 2.1 系统电源设计

系统电源电路如图 2 所示, 系统均以 12V 锂电池供电, 电源模块均采用 TI 公司的 TPS5430 降压芯片, 该芯片具有噪声小、带载能力强等特点, 可将 12V 降压为 5V

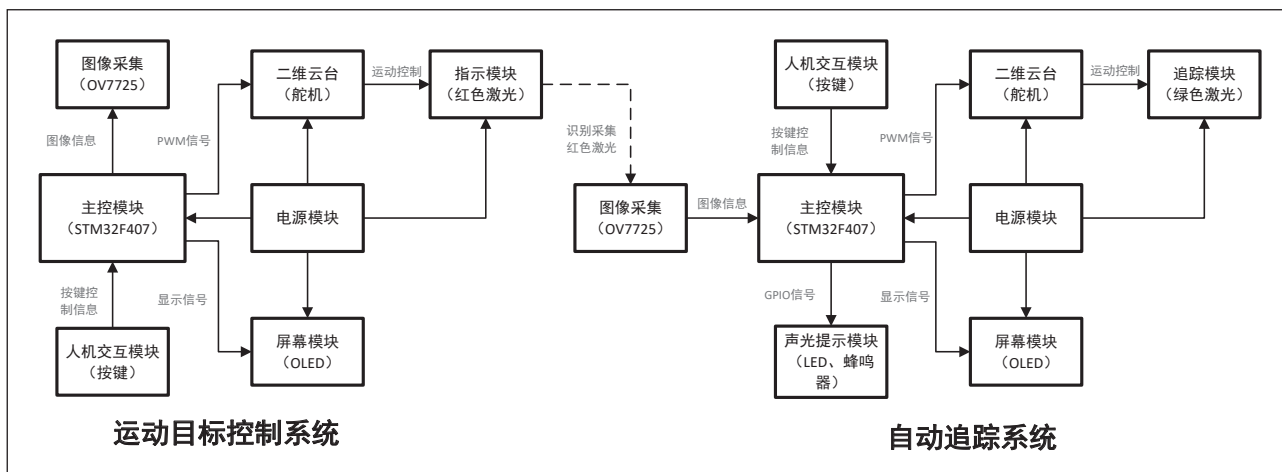


图 1 系统整体方案框图

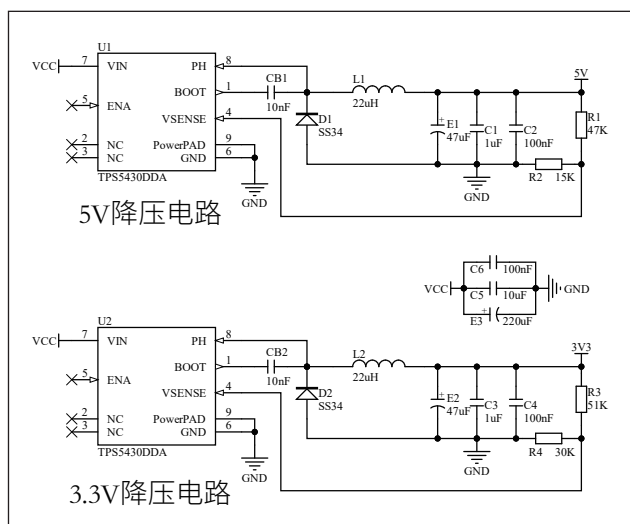


图2 系统降压电路

与3.3V。输出电压等于  $1.229 \times (1 + R1/R2)$ ，经过计算选取  $R1=47k\Omega$ ， $R2=15k\Omega$ ， $R3=51k\Omega$ ， $R4=30k\Omega$ 。其中，5V电压用于OpenMV与激光指示头供电，3.3V电压用于LED、蜂鸣器与OLED供电，而舵机直接以12V锂电池供电。

## 2.2 云台机械结构设计

云台安装有两种不同的组合方式（图3），方案一（图3左）搭建结构简单，垂直方向旋转半径大，便于控制舵机，但舵机本身的负载较大，存在发送微小转动指令时舵机不旋转的现象；方案二（图3右）垂直方向舵机负载小，舵机旋转更灵敏，角度控制更准确。综合精度与控制难度，采用方案二所示的安装方式可以实现较低控制难度下的较高精度。

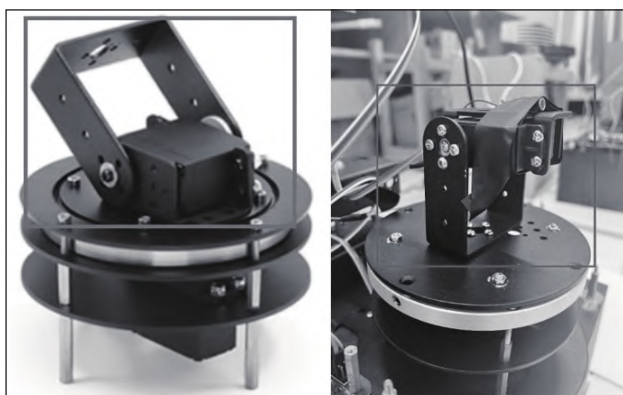


图3 两种云台机械结构对比

## 2.3 声光提示模块电路设计

图4是自动追踪系统声光提示模块的电路。电路由3.3V电压供电，接入蜂鸣器与LED灯的正极，通过微处理器的GPIO口输出高低电压进行控制，可实现LED灯的灭或亮、蜂鸣器关闭或发出蜂鸣声。蜂鸣器选择的是无源蜂鸣器，无音调变化，但较有源蜂鸣器控制更简单。

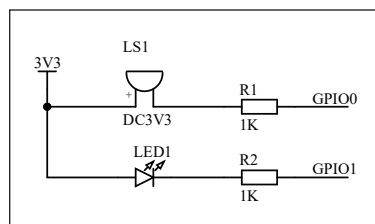


图4 声光提示模块电路

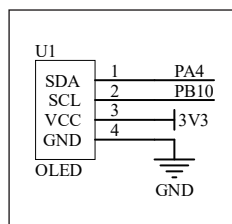


图5 屏幕显示模块电路

## 2.4 屏幕显示模块

屏幕显示电路如图5所示，OLED需以3.3V供电，SDA与SCL脚连接至MCU上引出的GPIO口，MCU输出控制信号后可使OLED上显示预设的信息。

# 3 系统软件设计

## 3.1 运动目标控制系统程序设计

如图6所示，本系统共有5个模式，分别为暂停模式、复位模式、循屏幕边线模式、循黑胶边线模式、舵机移动模式，模式的选择由按键控制。按键值的读取放在定时器中断中，每一秒读取一次。如果出现暂停标志位则停止舵机运动，暂停标志位取消则继续原来的运动；如果出现复位标志位，舵机先回到设定的复位位置，然后结束当前任务。由于系统摄像头固定，因此在不移动屏幕的前提下屏幕的边线是固定，直接采用位置标定让舵机巡线。在循黑胶边线的模式下，先通过卡尔曼滤波算法<sup>[4]</sup>进行图像信息采集，黑胶布的颜色与背景颜色有明显区分，找到黑胶布的位置并得到四个点的坐标；根据提前拟合好的坐标位置与舵机控制信号线性关系可以将四个点的坐标换算为对应的舵机控制信号，然后进行循迹。舵机移动模式是读取对应的两个按键，通过数值的加减移动舵机位置。

## 3.2 自动追踪系统程序设计

如图7所示，追踪模式一开始给摄像头复位，让它处在靠中间的位置，若在目标点右边追踪，则点击按键使摄像头向左偏转，反之向右偏转；当红色激光点进入摄像头视野范围内时，进行跟随并打靶，将追踪成功的信号发送给OpenMV。OpenMV收到信号后，点亮LED，并使蜂鸣器发出声音。该过程中可暂停观察两光斑距离。

# 4 分析与计算

## 4.1 运动目标控制与自动追踪性能分析

由于舵机存在机械误差，我们算出了激光点位置与当前两个舵机PWM波值的关系，得到了图8、图9。图8为竖直方向位移与竖直舵机PWM波的关系，图9为水平方向位移与水平舵机PWM波的关系。两图的均方根（RMSE）均

为 11 左右, 确定系数 (R-square) 均在 0.99 以上, 数据稳定且拟合程度高。利用拟合的数据进行参数修正, 提高了激光精度。

在进行参数修正后, 我们对舵机旋转单位角度在屏幕上的位移进行了测量, 以屏幕原点为 PWM 原点, 以离原点的竖直 (或水平) 距离为因变量, 每改变两个单位进行一次数据记录, 得到了图 10、图 11。图 10 为竖直方向位移与竖直 PWM1 改变量的关系, 图 11 为水平方向位移与水平 PWM2 改变量的关系。由图可知, 竖直方向改变单位 PWM 值位移量为 0.87cm, 水平方向改变单位 PWM 值位移量为 0.90cm, 准确度高。两图的均方根 (RMSE) 均在 0.5 以下, 确定系数 (R-square) 均在 0.99 以上, 数据稳定且拟合程度高。

#### 4.2 PID 计算

PID 通过误差信号控制被控量, 而控制器本身就是比例、积分、微分三个环节的加和。这里我们规定输入量为  $rin(t)$ , 输出量为  $rout(t)$ , 偏差量为  $err(t)=rin(t)-rout(t)$ , PID 的控制规律为<sup>[5]</sup>:

$$u(x) = kp \left( err(t) + \frac{1}{T} \int err(t) dt + \frac{T_D derr(t)}{dt} \right)$$

PID 离散表示形式:

$$u(k) = K_p \left( err(k) + \frac{T}{T_i} \sum err(j) + \frac{T_D}{T} (err(k) - err(k-1)) \right)$$

从而得到:

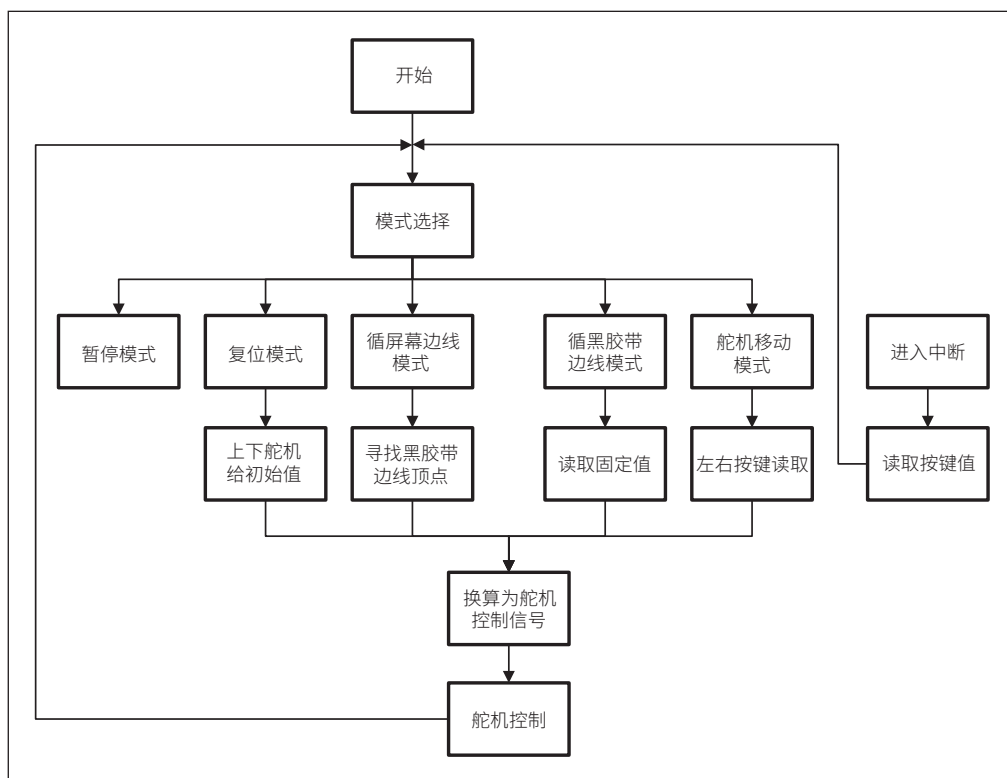


图6 运动目标控制程序流程图

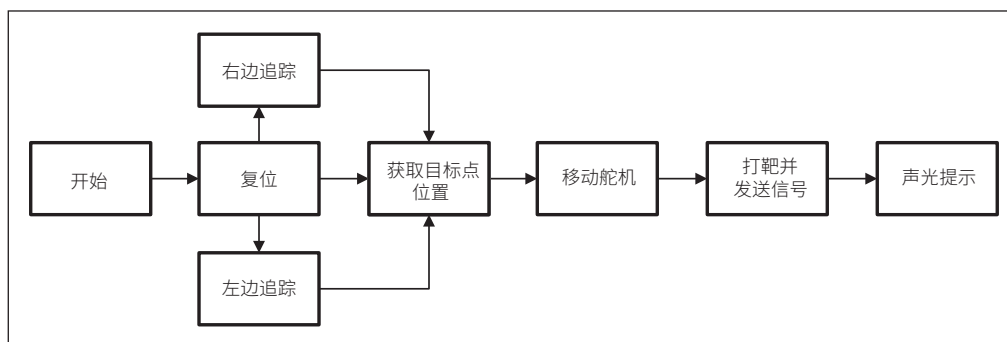


图7 自动追踪系统程序流程图

$$\Delta u(k) = k_p (err(k) - err(k-1)) + k_i err(k) + k_d (err(k) - 2err(k-1) + err(k-2))$$

## 5 测试方案与测试结果

### 5.1 测试方案

每题测试 3 次, 使用最大偏移距离作为测试结果。

基本要求 (1): 手动设置光标至屏幕左上顶点, 启动一键复位, 测量光标离预设原点的距离。再设置光标至屏幕左下顶点, 重复进行测试。测试是否具有暂停功能。

基本要求 (2): 启动运动目标控制系统。红色光斑能在 30 s 内沿屏幕四周边线顺时针移动一周, 测量移动时光斑偏离屏幕边线的最远距离。记录偏移值大于 2cm 的次数。

基本要求 (3): 自定义靶纸粘贴位置及角度。一键启动,

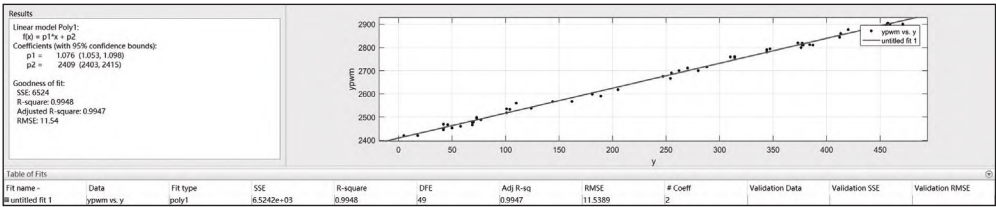


图 8 竖直方向位移 (y) 与 PWM 波 (ypwm) 的关系

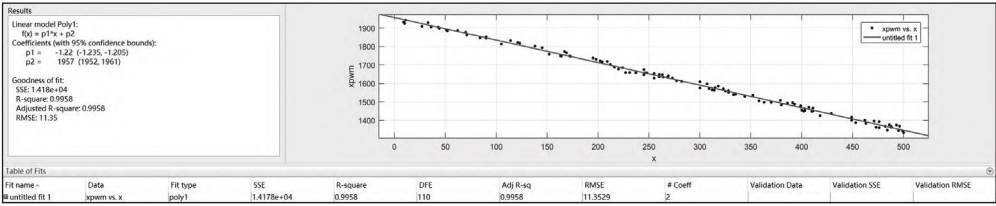


图 9 水平方向位移 (x) 与 PWM 波 (xpwm) 的关系

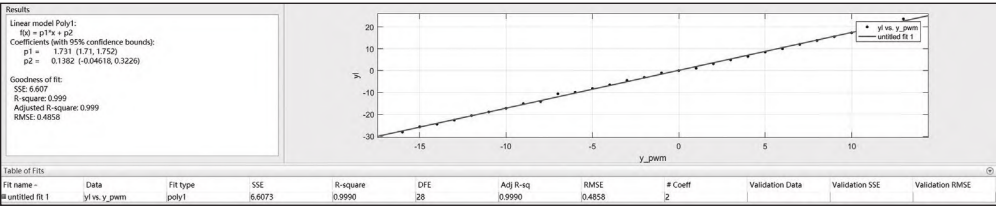


图 10 竖直方向位移 (yl) 与 PWM1 改变量 (y\_pwm) 的关系

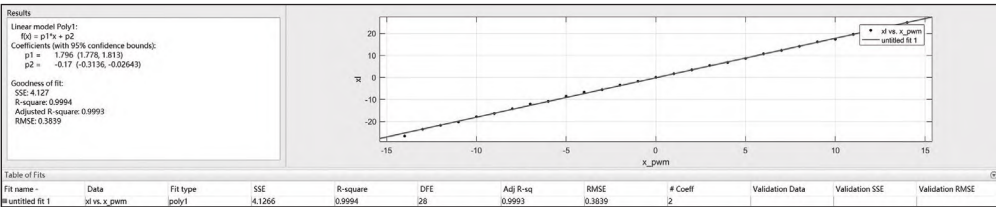


图 11 水平方向位移 (xl) 与 PWM2 改变量 (x\_pwm) 的关系

记录巡线时间、移动一周光斑偏离胶带次数，观察是否有连续脱离胶带移动 5cm 以上。测试是否具有暂停功能。

基本要求 (4)：随机设置靶纸粘贴位置及角度。一键启动，记录巡线时间、移动一周光斑偏离胶带次数，观察是否有连续脱离胶带移动 5cm 以上。测试是否具有暂停功能。

发挥要求 (1)：在规定位置范围内随机放置自动追踪系统。待运动目标控制系统复位后一键启动，记录追踪时间、红色绿色光斑之间的距离。测试是否具有暂停功能以及追踪成功后是否有声光提示。

发挥要求 (2)：粘贴靶纸。同时启动运动目标控制与自动追踪系统，记录追踪时间、红色绿色光斑之间的距离。测试是否具有暂停功能以及追踪成功后是否有声光提示。记录追踪过程中两个光斑中心距离大于 3cm 和连续追踪失败 3s 以上的次数。

## 5.2 测试结果

测试结果如表 1~ 表 6 所示。

## 5.3 测试结果分析

根据测试结果，运动目标控制与自动追踪系统完成了

题目要求的各项指标，且误差都在误差允许范围内。红色激光一键复位中，由于屏幕是固定的，我们固定摄像头，这样复位的中心位置是确定的，相比于摄像头随云台一起转动该方法完成要求的精确度更高；对于循框功能，直接识别铅笔线的误差太大，在确定四个顶点坐标后循框的精度提升很多，循框时间也相应缩减；胶带循迹对于我们来说是最难的部分，用舵机来控制倾斜的角度精度不够，我们选择采集大量坐标数据，拟合出对应较好的 PWM 值，控制激光在胶带范围内运动；追踪系统中，黑胶带会吞掉红光的亮度，导致另一个摄像头捕捉

表1 基本要求 (1) 测试结果

测试要求	测试结果
能够控制光标到任意指定位置	是
按复位键后光标回到原点	光斑中心距原点误差:0.3cm
是否有暂停功能	是

表2 基本要求 (2) 测试结果

测试要求	测试结果
一键启动运动目标控制系统，记录巡框时间(s)	8.91s
光标大于边线距离2cm次数	0
是否有暂停功能	是

表3 基本要求 (3) 测试结果

测试要求	测试结果
一键启动运动目标控制系统，记录巡胶带框时间(S)	8.26s
光斑完全脱离胶带次数	0
连续脱离胶带移动 5cm 以上	否
是否有暂停功能	是

表4 基本要求 (4) 测试结果

测试要求	测试结果
一键启动运动目标控制系统，记录巡胶带框时间(S)	8.74s
光斑完全脱离胶带次数	0
连续脱离胶带移动 5cm 以上	否
是否有暂停功能	是

表5 发挥要求（1）测试结果

测试要求	测试结果
一键启动自动追踪系统, 将光标移动到指定位置, 绿色光斑追踪到红色光斑时间 (声光提示时间) (s)	1.74s
红色和绿色光斑中心距离	0.4cm
是否有声光提示	是
是否有暂停功能	是

表6 发挥要求（2）测试结果

测试要求	测试结果
一键启动自动追踪系统, 将光标移动到指定位置, 绿色光斑追踪到红色光斑时间 (声光提示时间)	1.42s
红色和绿色光斑中心距离大于3cm次数	0
连续追踪中心距离大于3cm 3秒以上	否
是否有声光提示	是
是否有暂停功能	是

不到红色激光, 我们更换了一个长镜头并调节曝光度, 使得捕捉红色激光点效果很好, 在追踪时, 将红色激光的移动速度减慢, 然后调节绿色激光位置 PID 和相对中心点坐标实现了较好的跟随系统<sup>[6]</sup>。

6 结语

本系统采取了以 OpenMV 为控制核心, 控制云台进行激光指示的方案。系统采用数字舵机搭配旋转云台以提高整体机械结构的稳定性。为精确对应坐标与 PWM 的数字关系, 在循迹的软件部分中加入了拟合数值的修正, 极大地提高了激光的指示精度; 硬件部分采用电源供电、加入了自制稳压电源, 按键功能丰富, 整体结构清晰高效、控制稳定。本系

(上接第 42 页)

4 总结

本文完成了智能井盖控制系统的设计, 该智能井盖可获取传感器精确数值并上传云端, 在达到设定阈值时会提醒管理员, 实现实时监控、报警的功能。

实现的主要功能如下:

- (1) 传感器数据采集: 可燃气体传感器、井盖姿态传感器的数据解算, 可以准确采集环境数据。
- (2) 数据上传云端: 智能井盖通过网络连接, 将传感器采集到的数据上传至云端服务器, 实现数据的实时存储和处理。
- (3) 远程管理和控制: 管理员可以通过使用手机应用或电脑等终端设备, 随时远程管理和控制智能井盖, 包括查看实时数据、设置阈值、接收报警信息等功能。

本文设计的智能井盖控制系统, 可以广泛应用于各种复杂气候和地势的地区, 提供可靠的实时监控和报警功能, 可以帮助管理人员及时掌握井盖状态并采取必要的措施, 提高井盖管理的效率和安全性。

统实现了误差 0.5cm 以内的运动目标的快速控制与自动追踪, 完成了整个题目的要求, 且误差远小于题目要求中的规定值。本次方案所需的软硬件设计可行性较高, 进一步研究将会朝着系统优化的方向进行, 如使用模糊 PID 控制使舵机调节更加精确<sup>[7]</sup>、在视觉部分的算法添加 IIR 滤波从而减小周边光线变化带来的影响等<sup>[8]</sup>。

参考文献

\* [1] 董振华, 何焱. 基于 OpenMV 的行人检测系统 [J]. 科学技术创新, 2023(24):92-95.

\* [2] 骆绍辉, 张长佳, 周超等. 基于 OpenMV 的水果筛选系统设计 [J]. 兰州文理学院学报 (自然科学版), 2022, 36(01):54-58.

\* [3] 李伟博, 李珈毅, 张志明等. 基于无剑 SoC 开源平台的二自由度云台控制系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2022(02):47-51.

\* [4] 刘新宁. 基于卡尔曼滤波的赛道检测优化算法 [J]. 汽车实用技术, 2023, 48(06):69-75.

\* [5] 朱梅, 赖日海, 罗昭明等. 基于多信号融合的竞技机器人控制研究 [J]. 现代信息科技, 2023, 7(20):22-26+31.

\* [6] 董超, 郑兵, 李彬等. 改进核相关滤波器的海上船只目标跟踪 [J]. 光学精密工程, 2019, 27(04):911-921.

\* [7] 杨明晔, 刘婷婷, 付贵. 基于云台相机的旋翼无人机视觉伺服方法研究 [J/OL]. 电光与控制:1-8[2023-10-26]. <https://kns-cnki-net.webvpn.hdu.edu.cn/kcms/detail/41.1227.TN.20230926.1747.002.html>.

\* [8] 陈中祥, 熊莹霞. 基于 MATLAB/GUI 的 FIR 和 IIR 数字滤波器的设计实现 [J]. 智能计算机与应用, 2022, 12(01):80-83.

参考文献

\* [1] 苏山, 杨欣莹, 陈帅等. 城市下水道沼气爆炸研究 [J]. 城市燃气, 2021(S1):153-157.

\* [2] 高苗. 井下机器人入驻的安全性评价 [D]. 安徽理工大学, 2020.

\* [3] 姚远. 物联网技术在消防监督管理中的应用探究 [J]. 消防界 (电子版), 2022, 8(19):77-79.

\* [4] 徐洪日. 工业现场可燃气体泄漏监测系统研究 [D]. 华北电力大学, 2022.

\* [5] 张力文, 刘洪, 王庭李等. 基于 CTWing 和 NB-IoT 的 CO 实时监测物联网系统设计 [J]. 价值工程, 2022, 41(26):110-114.

\* [6] 戴士杰, 东强, 季文彬等. 基于法向修正与位置滤波的散乱点云去噪算法 [J]. 传感器与微系统, 2023, 42(02):130-134.

\* [7] 蒋梦琳, 卢治中, 周鑫磊等. 基于金属酞菁 / 碳点的室温 NO2 气体传感器研究 [J]. 传感器与微系统, 2023, 42(02):5-8+12.

\* [8] 黄龙亮, 胡鹏飞, 曹祥等. 基于扩展卡尔曼滤波算法的机器人姿态解算研究 [J]. 现代机械, 2023(04):13-16.